新疆干旱区作物体系土壤温室气体排放对覆膜的响应

王旭阳[1]， 李典鹏[1]， 孙 涛[1]， 孙 霞[1]， 贾宏涛[1]， 李 君[2]， 李新虎[2]

（1. 新疆农业大学草业与环境科学学院，新疆 乌鲁木齐 830052；2. 中国科学院新疆生态与地理研究所，荒漠与绿洲生态国家重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830011）

摘 要：覆膜是干旱区农田提高作物产量的有效途径，在农业生产中被广泛应用，探究不同作物体系下，土壤温室气体排放对覆膜的响应，对于农田温室气体减排具有重要意义。采用小区试验，对玉米和棉花小区内的覆膜与未覆膜土壤（MM、MN、CM、CN）的温室气体排放量进行原位观测。结果表明：(1) 覆膜显著增加了土壤温度与含水量（$P<0.05$）。覆膜处理（MM、CM）土壤CH_4排放次数大于未覆膜处理（MN、CN），2种体系中CH_4排放通量最高出现在MM与CM处理，分别为63.47 $\mu g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$和16.67 $\mu g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$。(2) N_2O最高排放通量分别为MM（616.70 $\mu g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$）与CN处理（244.92 $\mu g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$）。(3) 玉米和棉花小区土壤$CO_2$排放通量最大值分别出现在7月（505.93 $g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$）和6月（848.32 $g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$），之后均呈下降趋势。(4) 土壤含水量对MM与CM处理的CH_4、N_2O和CO_2排放均产生了显著影响（$P<0.05$）。(5) 土壤温度对MM处理CH_4排放具有显著影响，MM与CM处理的N_2O排放与土壤温度显著正相关，各处理CO_2排放均与土壤温度呈显著相关关系（$P<0.05$）。作物种类与地膜覆盖对CO_2排放产生了交互作用。(6) MM与MN处理土壤的增温潜势（GWP）显著高于CM与CN处理，增加量为61.83%~74.63%。农田土壤温室气体排放受覆膜和作物的综合影响，膜下土壤温室气体排放对水热因子的响应强于未覆膜土壤。

关键词：干旱区农田；玉米；棉花；地膜覆盖；温室气体

全球气候变暖已经成为事实[1]，大气中二氧化碳（CO_2）、甲烷（CH_4）和氧化亚氮（N_2O）等温室气体排放是全球变暖的主要原因之一[2]。据统计，农田温室气体排放量约占全球人为温室气体排放量的13.5%[3]，是大气温室气体的重要来源。新疆作为典型的旱地农田区域，农业用地面积达到6068.89 hm^2，其中棉花和玉米2种典型作物种植面积约占农田总面积的57%[4]。在干旱区农田中，地膜覆盖是提高作物产量的有效途径[4]，新疆是全国农业地膜覆盖面积最大的省份，薄膜使用量近27×10^4 t[5]。因此，明确新疆旱地棉花和玉米农田温室气体排放对覆膜的响应机制是当前农业可持续发展进程中亟待解决的问题。

地膜覆盖能够降低土壤水分蒸发，增加土壤温度，进而改变膜下土壤的水热条件。同时，不同作物的生理特征和栽培管理也会对土壤的环境条件产生影响[6-8]，使得不同覆膜农田温室气体排放的研究结果往往存在差异。前人在对干旱区覆膜棉田的研究中发现，覆膜使棉田土壤CO_2累积排放量显著降低了7.91%，且覆膜棉田NO_2排放通量显著低于未覆膜棉田[9-10]。而对玉米覆膜农田的研究认为，覆膜对农田土壤CO_2和NO_2的排放通量均未产生显著影响[11-12]。此外，对玉米覆膜农田的研究发现，在同一研究区域下，不同的试验时间，覆膜对玉米农田土壤CH_4的吸收产生了不同影响[13-14]。可见，不同研究区域、作物类型、气候条件与试验时间是造成覆膜农田温室气体排放研究结果不一致的重要原因。目前，针对同种作物覆膜农田温室气体排放的研究已有较多报道，而在相同气候条件和土壤类型下不同覆膜农田的对比研究较少。与此同时，有关覆膜农田中覆膜与未覆膜土壤之间温室气体排放的差异鲜有报道。因此，探究相同研究区域

收稿日期：2021-07-31； **修订日期：**2021-10-01
基金项目：农业农村部西北绿洲农业环境重点实验室开放基金（XBLZ-202004）
作者简介：王旭阳（1996-），男，硕士研究生，主要从事农田土壤健康相关研究. E-mail: 1515375795@qq.com
通讯作者：孙霞. E-mail: sunxia1127@163.com

下不同作物农田土壤温室气体排放对覆膜的响应机制，对于准确评估覆膜农田温室气体排放具有重要意义。

本文以新疆干旱区典型作物玉米和棉花为研究对象，对农田温室气体进行了原位监测，同步测定了土壤含水量与温度等环境因子，计算累积排放量与增温潜势。探明生长季2种作物农田土壤温室气体排放动态变化，分析覆膜条件下土壤环境因子与农田温室气体排放间的关系，试探究在覆膜条件下，干旱区不同作物体系土壤温室气体排放的差异，旨在为新疆地区农田种植结构调整提供科学数据和理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验于2019年在中国科学院阿克苏农田生态系统国家野外科学观测研究站（80°45′E，40°37′N）进行。该站位于塔里木盆地，海拔1030 m，站区年平均气温11.2 ℃，多年平均降水45.2 mm，无霜期211 d，全年日照时数2940 h，属于干旱区绿洲农田生态系统，是干旱区农田的典型代表。试验区土壤类型为盐化潮土，土壤质地为粉砂质壤土（砂粒46%、粉粒50%和黏粒4%），土壤pH为8.08，有机质含量为15.95 g·kg^{-1}，碱解氮含量为4.81 mg·kg^{-1}，速效磷含量为12.31 mg·kg^{-1}，速效钾含量为104.02 mg·kg^{-1}，全氮含量为0.58 g·kg^{-1}，全磷含量为0.87 g·kg^{-1}，全钾含量为20.56 g·kg^{-1}，试验期间降雨量与日均温变化见图1。

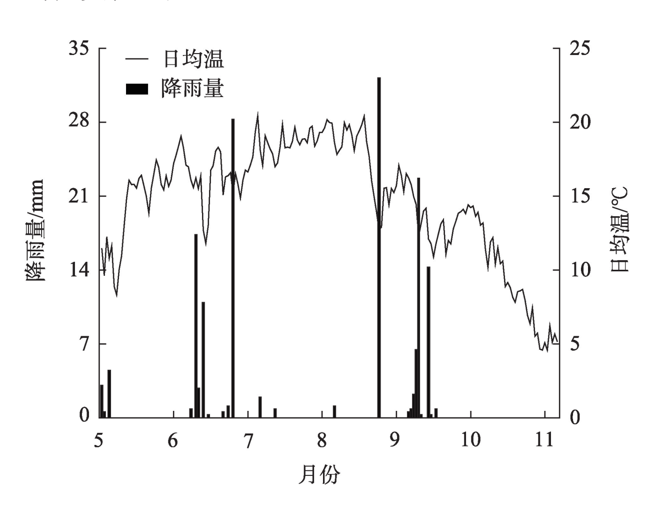


图1　观测期日均温与降雨量

Fig. 1　Daily mean temperature and rainfall during the observation period

1.2　试验设计

采取覆膜耕种的耕作方式，设置小区试验，于2019年5—11月进行。单个小区大小为8 m×8 m，小区设置玉米和棉花2种作物处理，每种作物处理小区设4个重复，共设8个小区，随机区组排列。每个小区内设2个采样处理，玉米小区内为：玉米小区覆膜土壤（MM）、玉米小区未覆膜土壤（MN），棉花小区内为：棉花小区覆膜土壤（CM）和棉花小区未覆膜土壤（CN）。覆膜采用0.005 mm厚、1.2 m宽的白色透明聚乙烯薄膜覆盖，株行距采用宽窄行配置，即一膜种植4行棉花，窄行距15 cm，宽行距70 cm，膜间距50 cm，株距均为10 cm。棉花品种为新陆早19号，玉米品种为中糯2号。棉花与玉米农田均以尿素（N 46.4%）为氮肥，磷酸二铵（N 18%、P_2O_5 46%）为基肥，复合肥（N 8%、P_2O_5 20%、K_2O 24%）为滴灌肥。田间管理采取水肥管理措施进行，生长期灌溉采取滴灌模式，铺设滴灌带在宽行中央，定期进行滴灌，每次灌溉持续7~11 h，6月8日第1次灌水，共灌溉10次，每2次灌溉间隔时间7~9 d。

1.3　样品采集和测定方法

气体样品采用静态暗箱法取样，取样箱为PVC材料制作的不透明长方体箱，长50 cm，宽50 cm，高25 cm，箱体顶部三通阀用于取气，箱体内部接入小电扇，用于取样时混匀箱内气体。取样箱底座长50 cm，宽50 cm，高10 cm，将其插入土壤中5 cm，箱体扣于底座的凹槽上，并在凹槽中注水密封。底座分别放置在小区覆膜与未覆膜土壤，观测期间箱内不含作物和杂草（图2）。底座插入农田覆膜部分时避免底座破坏薄膜。采样频率为7~8 d监测1次。于每个采样日的9:00—10:00取样，扣箱后打开取样箱内小风扇，分别在5 min、10 min、15 min、20 min、25 min和30 min打开取样箱顶部的开关阀，用注射器抽取30 mL气体，气体样品于2 d内进行测定。气体样品采用气相色谱仪（Agilent 7890 A，USA）进行分析测定，每次采样同期测定各处理采样箱内温度（JM624便携测温计）、土壤含水量及土壤下10 cm温度（BOCHEN直角地温计）。

1.4　计算公式

温室气体排放通量采用线性模型（LR）计算[15]，线性模型采用气体浓度（c）随时间（t）变化的线性回归方程，计算公式为：

$$F=\rho\times\frac{V}{A}\times\frac{\Delta c}{\Delta t}\times\frac{273}{(273+\theta)}\times 60 \quad (1)$$

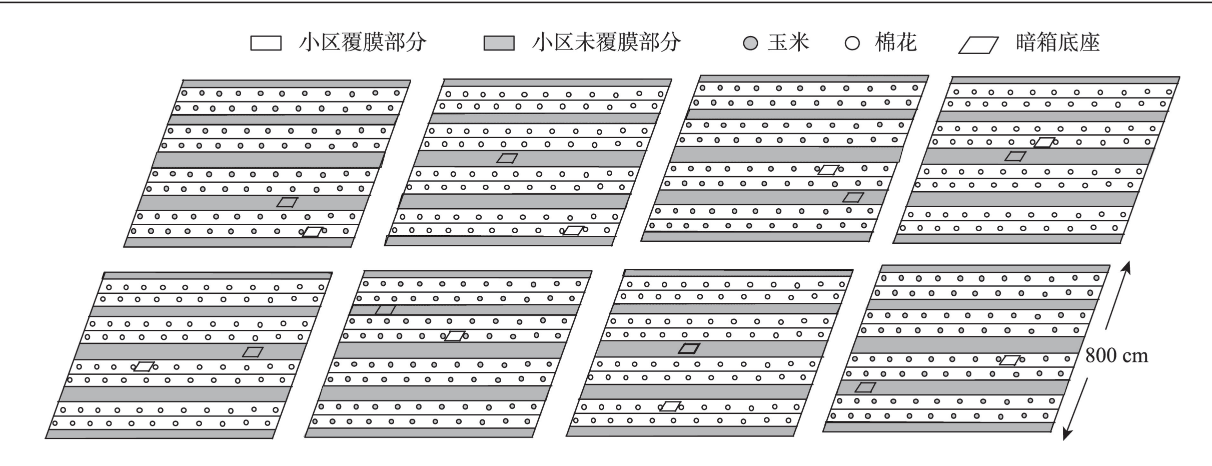


图2 样地采样箱埋设位置示意图

Fig. 2 Schematic location of measurement plots by closed chamber method

式中：F为CO_2、N_2O、CH_4的排放通量($mg\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$)；$\rho$为箱内气体密度($g\cdot cm^{-3}$)；$V$为采样箱内空间体积(L)；$A$为采样箱覆盖的土壤面积($m^2$)；$\Delta c/\Delta t$为单位时间内温室气体线性变化率($\mu g\cdot cm^{-3}\cdot min^{-1}$)；$\theta$为扣箱采样期间箱内的平均温度(℃)。温室气体累积排放量[16]计算公式为：

$$R_c = 24 \times 0.01 \times \left[\frac{F_i + F_{i+1}}{2} + \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{F_i + F_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i) \right] \quad (2)$$

式中：n为生长期内观测次数；F_i与F_{i+1}为第i次和第i+1次采样温室气体排放通量；t_i和t_{i+1}为第i次和第i+1采样的采样时间。本试验基于农田土壤排放的CO_2是人为温室气体排放源，计算农田全球增温潜势(GWP)时只计算N_2O和CH_4的增温效应，在100 a尺度下，N_2O和CH_4的全球增温潜势分别按CO_2的265倍和28倍计算[17]。因此农田全球增温潜势计算公式为：

$$\mathrm{GWP} = R_{CH_4} \times 28 + R_{N_2O} \times 265 \quad (3)$$

式中：R_{CH_4}和R_{N_2O}分别代表N_2O和CH_4的累积排放量($kg\cdot hm^{-2}$)；28和265分别为CH_4和N_2O转换为标准碳的转换系数。

1.5 数据处理

使用Excel 2010进行数据处理，利用Origin 2018软件作图。通过SPSS 19.0软件，采用重复测量方差分析比较各处理土壤温室气体排放差异，使用单因素方差分析与独立样本t检验对土壤温度、含水量与土壤温室气体排放通量进行差异性比较(α=0.05)，利用回归分析探究土壤温度、含水量与土壤温室气体排放通量间的关系。

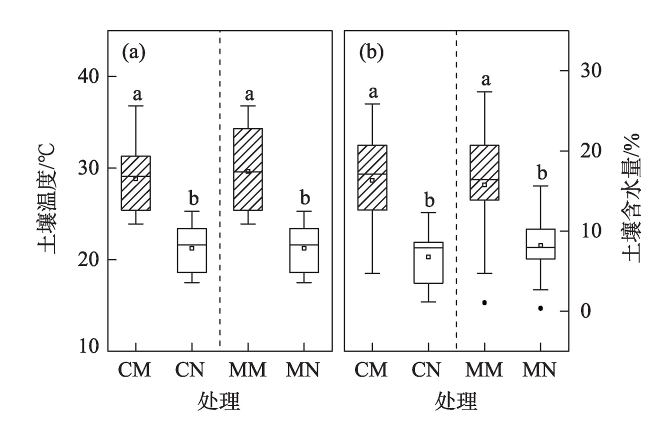
2 结果与分析

2.1 覆膜对土壤环境因子的影响

在对相同作物小区中覆膜与未覆膜土壤水热因子间的分析中发现，覆膜对不同作物小区的土壤水热因子均产生了显著影响(P<0.05)(图3)。与未覆膜土壤相比，CM与MM处理的土壤温度提高了17.10%~54.71%和17.12%~50.65%，土壤含水量分别提高了90.41%~332.43%和91.35%~298.80%。说明覆膜能够显著提升膜下土壤的温度与含水量。

2.2 不同农田土壤温室气体排放动态

各处理CH_4主要呈吸收特征，伴随少量排放，玉



注：MM表示玉米处理覆膜部分土壤，MN表示玉米处理未覆膜部分土壤，CM表示棉花处理覆膜部分土壤，CN表示棉花处理未覆膜部分土壤。下同。不同字母表示同种作物样地，不同处理间在0.05水平上差异显著。

图3 不同处理下覆膜对土壤温度(a)与含水量(b)的影响

Fig. 3 Effects of film mulching on soil temperature (a) and water (b) content under different treatments

米与棉花小区均在7—8月期间表现出较高的CH_4吸收强度(图4)。MM与MN处理土壤最高CH_4吸收通量分别达到28.65 μg·m^{-2}·h^{-1}和27.32 μg·m^{-2}·h^{-1},CM与CN处理土壤最高CH_4吸收通量分别为39.64 μg·m^{-2}·h^{-1}和40.27 μg·m^{-2}·h^{-1}。观测期内,MM与MN处理土壤CH_4排放通量最高为63.47 μg·m^{-2}·h^{-1}和34.85 μg·m^{-2}·h^{-1},CM与CN处理土壤最高CH_4排放通量分别为16.67 μg·m^{-2}·h^{-1}和6.28 μg·m^{-2}·h^{-1}。总体来看,覆膜增加了土壤的CH_4排放次数,玉米小区的CH_4排放次数多于棉花小区。

同种作物小区内,覆膜土壤与未覆膜土壤间N_2O排放通量的动态变化规律相同,各处理均表现为多峰形排放。玉米小区最高N_2O排放通量出现在8月,为MM处理(616.70 μg·m^{-2}·h^{-1}),9月后N_2O排放通量波动较小。棉花小区最高N_2O排放通量出现在5月,为CN处理(244.92 μg·m^{-2}·h^{-1}),6月后N_2O排放通量波动较小。由此可见,覆膜对土壤N_2O的排放规律未产生影响,玉米与棉花小区间N_2O排放峰出现时间与强度均有差异。

各处理的CO_2排放通量的变化规律均为先上升后降低,即玉米小区在7月,MM与MN处理土壤CO_2排放通量表现为最高,分别为369.97 g·m^{-2}·h^{-1}和505.93 g·m^{-2}·h^{-1}。棉花小区在6月CO_2排放通量达到最高,CM与CN处理土壤CO_2排放通量分别为

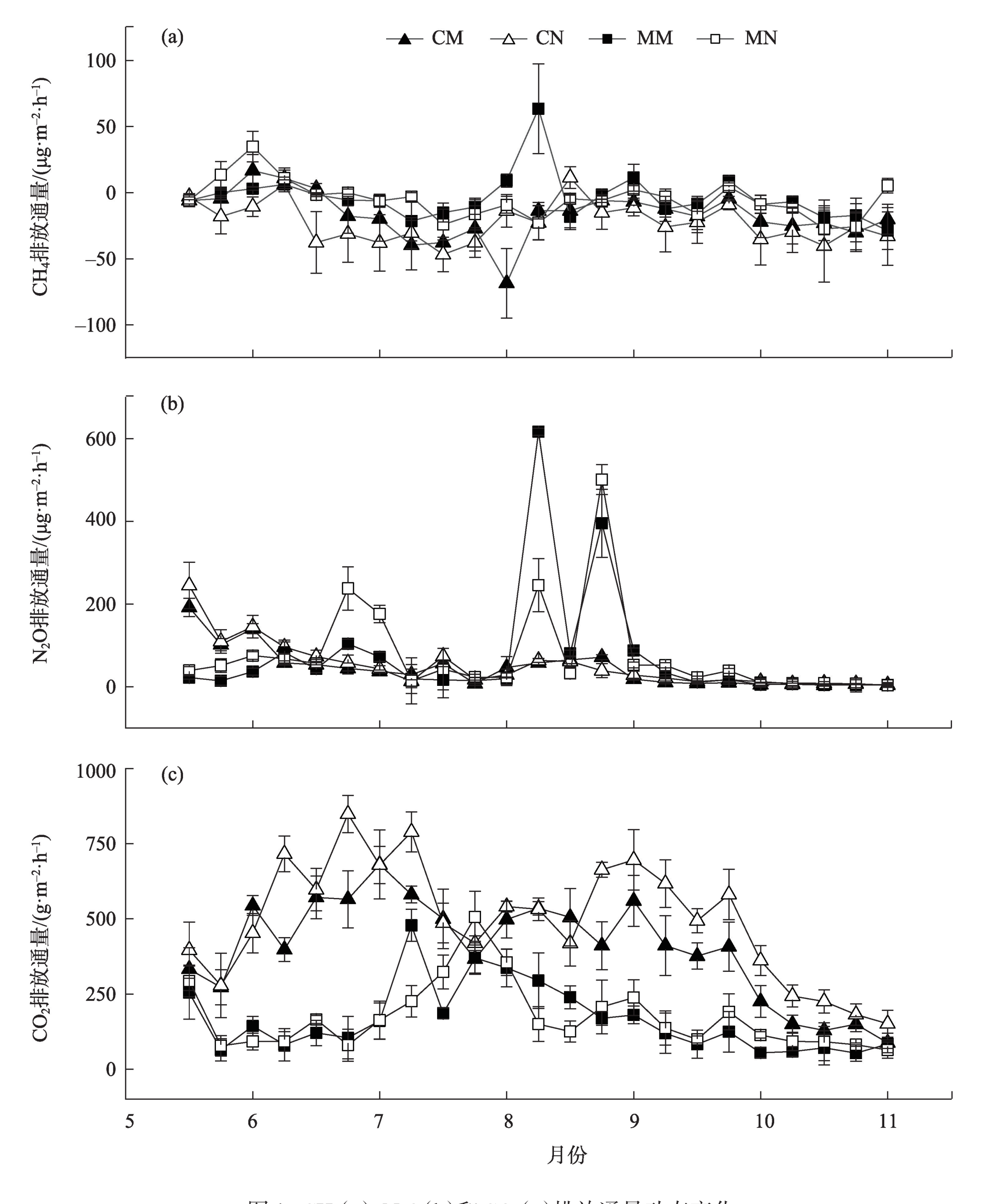


图4 CH_4(a)、N_2O(b)和CO_2(c)排放通量动态变化

Fig. 4 Dynamic changes in CH_4 (a) ,N_2O (b) and CO_2 (c) emission fluxes

680.67 g·m^{-2}·h^{-1}和848.32 g·m^{-2}·h^{-1}。2种作物小区的覆膜土壤与未覆膜土壤CO_2排放通量动态变化特征相同，土壤CO_2排放通量变化规律主要受作物体系的影响。

2.3 温室气体排放对覆膜及水热因子的响应

玉米与棉花小区间土壤CH_4与CO_2排放存在显著差异；同一作物小区覆膜与未覆膜处理土壤温室气体排放不存在显著差异；作物种类与地膜覆盖仅对CO_2排放的影响存在交互作用(表1)。

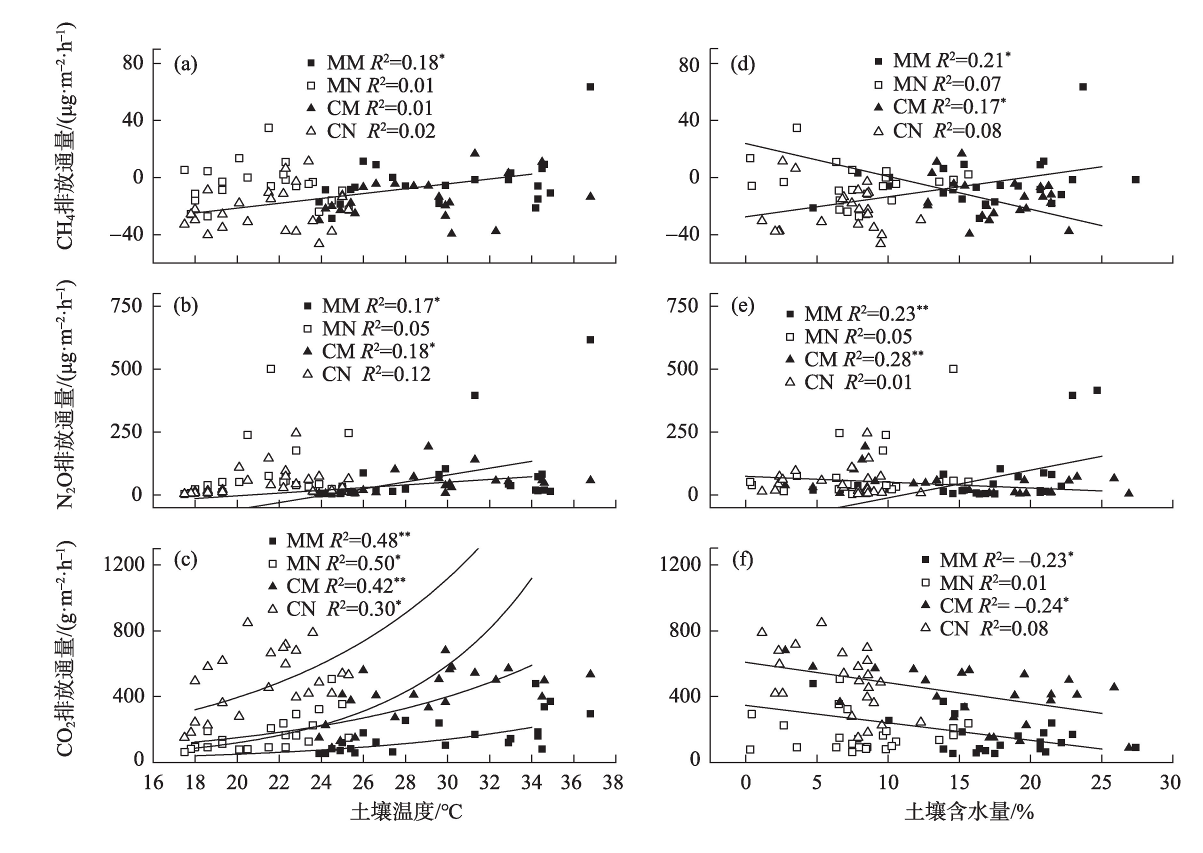
玉米体系中，MM处理的土壤温室气体排放通量均与土壤温度与含水量呈显著相关(图5)，并且MM处理下土壤N_2O和CO_2排放通量分别与土壤含

表1 土壤温室气体排放重复测量方差分析

Tab. 1 Repeated-measures analysis of variance of soil greenhouse gas emission

	变异来源	*SS*	*df*	均方	*F*值	*P*值
CH_4	作物	0.005	1	0.005	28.772	<0.05
	覆膜	0.001	1	0.001	0.895	>0.05
	作物×覆膜	0.001	1	0.001	0.572	>0.05
	重复测量误差	0.008	44	0.001		
N_2O	作物	1.598×10^4	1	1.598×10^4	2.353	>0.05
	覆膜	3.337×10^3	1	3.337×10^3	0.409	>0.05
	作物×覆膜	0.002	1	0.002	0.001	>0.05
	重复测量误差	2.97×10^5	44	6.755×10^3		
CO_2	作物	1.775×10^6	1	1.775×10^6	110.951	<0.05
	覆膜	0.003	1	0.003	0.409	<0.05
	作物×覆膜	4.489×10^4	1	4.489×10^4	2.806	<0.05
	重复测量误差	7.04×10^5	44	1.6×10^5		

注：*SS*为平方和，*df*为自由度，采用Greenhouse Geisser法校正自由度，$P<0.05$。



注：*表示$P<0.05$水平上显著，**表示$P<0.01$水平上显著。

图5 土壤水热条件与温室气体排放通量的关系

Fig. 5 Relationship between soil hydrothermal conditions and greenhouse gas emission flux

表2 温室气体累积排放量及全球增温潜势（GWP）

Tab. 2 Greenhouse gas cumulative emissions and global warming potential(GWP)

处理	CO_2/(t·hm^{-2})	N_2O/(kg·hm^{-2})	CH_4/(kg·hm^{-2})	GWP/(kg·hm^{-2})
CM	16.22±0.17bA	1.74±0.05bB	−0.70±0.02bB	440.30±9.85bB
CN	20.22±0.20aA	2.01±0.14bB	−0.97±0.02bB	506.00±11.26bB
MM	6.90±0.11aB	2.90±0.14aA	−0.17±0.02aA	768.90±15.96aA
MN	7.37±0.11aB	3.11±0.11aA	−0.23±0.0 aA	818.85±14.78aA

注：不同小写字母表示在同种作物不同处理间在0.05水平上差异显著，不同大写字母表示在不同种作物处理间在0.05水平上差异显著。

水量和土壤温度极显著相关（P<0.01）。MN处理中，仅土壤CO_2排放通量与土壤温度显著相关，其余均未表现出显著相关性（P<0.05）。表明土壤水热因子变化对玉米小区膜下土壤温室气体排放的影响强于未覆膜土壤。对于棉花体系而言，土壤温度与CM处理的土壤N_2O排放通量显著相关（P<0.05），并且与CO_2排放通量呈极显著相关关系（P<0.01）。土壤含水量与CM处理的土壤CH_4和CO_2排放通量表现为显著相关（P<0.05），并且与土壤N_2O排放通量极显著相关（P<0.01）。CN处理中，仅土壤CO_2排放通量与土壤温度显著相关，其余均未表现出显著相关性（P<0.05）。由此可见，土壤水热因子是影响棉花小区膜下土壤温室气体排放的关键因素。

2.4 温室气体累积排放量和增温潜势

观测期内，玉米与棉花小区均表现为CH_4的汇（表2）。并且CM与CN处理土壤对CH_4的累积吸收量显著高于MM与MN处理（P<0.05）。与CM与CN处理相比，MM与MN处理土壤的N_2O累积排放量显著提高了35.37%~40.00%，CO_2累积排放量显著降低了57.46%~63.55%（P<0.05）。相较于未覆膜土壤，CM与MM处理土壤的N_2O累积排放量分别降低了13.43%和6.75%，CM处理土壤的CO_2累积排放量显著降低了19.78%（P<0.05）。各处理相比，MN处理表现出最高的增温潜势（GWP），达到818.85 kg·hm^{-2}，显著高于CN处理（P<0.05）。CM土壤具有最低的GWP，为440.30 kg·hm^{-2}。与未覆膜土壤相比，CM与MM处理土壤的GWP分别降低了12.98%和6.10%，由此可见，玉米小区具有较高的增温效应。

3 讨论

3.1 覆膜对土壤温室气体排放的影响

地膜覆盖能够显著影响膜下土壤的水热条件，土壤水热条件改变会对土壤温室气体排放产生不同程度的影响。本研究发现，土壤的CH_4排放与膜下土壤的含水量存在显著相关性（P<0.05），这与Smith[18]的研究结果保持一致。而罗晓琦等[14]关于玉米覆膜农田的研究认为，膜下土壤CH_4排放仅受土壤温度的影响，与本研究存在较大差异。这一现象可能与膜下土壤含水量不一致有关。覆膜使土壤含水量增加，一方面为产甲烷菌产生CH_4提供了厌氧环境[19]。但另一方面，含水量过高将堵塞土壤孔隙，阻隔土壤与外界的气体交换[20]。前人研究中，膜下土壤含水量始终维持在较高水平，使得土壤中的CH_4排放受阻，进而依赖于温度调控向大气中扩散。此外，土壤温度与土壤水分可通过改变土壤中硝化细菌和反硝化细菌的活性对土壤N_2O排放产生综合影响[21-22]。在本研究中，膜下土壤N_2O排放与土壤含水量呈极显著相关关系（P<0.01），并且土壤含水量对膜下土壤N_2O排放的影响强于土壤温度。这是由于膜下土壤含水量的增加使土壤热容改变，加之土壤水分对土壤中N_2O扩散的阻碍作用[23]，共同限制了土壤温度的调控，导致土壤含水量成为膜下土壤N_2O排放的关键影响因子。土壤温度是影响土壤CO_2排放的主要因素，其能控制微生物对有机质的矿化分解和植物根系的呼吸速率[24]。Fierer等[25]在关于土壤呼吸和温度的拟合研究中发现，土壤温度改变会带来土壤CO_2排放的显著变化，这与本研究结果保持一致。同时，王兴等[26]的研究认为土壤呼吸受土壤温度与含水量的共同影响，这与本研究结果中覆膜处理土壤保持一致，但与未覆膜处理土壤存在差异。温度能够调节土壤呼吸作用的各个方面，但温度对土壤呼吸的影响有一定的范围限制[27]。本研究中，未覆膜土壤温度显著低于膜下土壤。作物根系呼吸与微生物代谢是土壤CO_2排放的主要来源，较低的土壤温度可能导致土壤中微生物代谢速率对温度敏感性下降，造成CO_2排放未与土壤温度呈显著相关性。

在覆膜条件下，水热因子对温室气体排放的调控性显著增加，在新疆干旱区农田地膜持续运用的背景下，采取科学的膜下土壤灌溉模式，进而控制干旱区农田温室气体排放，能够有效减缓干旱区覆膜农田的缓增温效应。

3.2 不同作物体系土壤温室气体排放对覆膜的响应

作物种类是不同农田土壤温室气体排放存在差异的重要原因，不同作物根系的呼吸作用会间接影响温室气体的产生与排放[28]。本研究显示，膜下土壤温度与玉米小区膜下土壤的CH_4排放通量呈显著相关性，但其未与棉花小区膜下土壤出现显著相关关系。这可能是由于不同作物根系的呼吸作用对温度的敏感性不同[29]，而造成玉米和棉花小区膜下土壤中的产甲烷菌与甲烷氧化菌处在不同的土壤环境[30]，使其对土壤温度变化的响应存在差异。对于玉米与棉花作物而言，玉米为C4植物，而棉花为C3植物(棉花)的区别，两者的光合作用与CO_2补偿点存在差异，因此其呼吸作用对温度与CO_2浓度的响应有所不同[31]。本研究中，土壤CO_2排放通量变化规律主要受作物种类的影响，且覆膜显著降低了棉花小区土壤的CO_2累积排放量，但对玉米小区未产生显著影响。覆膜具有阻隔作用，膜下土壤中CO_2积累量增加。C3植物的CO_2补偿点高于C4植物，C3植物能够利用较高浓度的CO_2[32]。而C4植物在常规CO_2浓度下，其光合作用已达到饱和，对膜下土壤中的CO_2响应并不强烈，从而导致不同作物体系CO_2排放特征出现差异[33-34]，使覆膜对C3植物CO_2排放的影响强于C4植物。同时，这也使得作物种类与覆膜产生了交互作用。

在相同研究区域、气候条件与观测时间的条件下，玉米小区中覆膜土壤与未覆膜土壤的增温效应均高于棉花小区。因此，若能在新疆农田结构调整的过程中，适当减少玉米的播种面积，将会对干旱区农田温室气体减排起到重要作用。

4 结 论

(1) 在同一作物体系下，覆膜增加了土壤CH_4排放次数，对土壤N_2O和CO_2排放规律未产生显著影响。在整个生长期内，玉米与棉花体系间土壤温室气体排放特征差异性较大。

(2) 覆膜仅显著降低了棉花小区CO_2累积排放量，玉米小区覆膜与未覆膜土壤的增温潜势(GWP)均高于棉花小区($P<0.05$)。

(3) 对于干旱区覆膜农田而言，膜下土壤CH_4排放仅受土壤水分的显著影响；膜下土壤N_2O和CO_2排放受土壤湿度与温度的综合影响；土壤温度也能够显著影响未覆膜土壤CO_2排放。

致 谢：在此对中国科学院阿克苏农田生态系统国家野外科学观测研究站提供的支持与帮助表示感谢！

参考文献(References)：

[1] Li J, Dong W, Oenema O, et al. Irrigation reduces the negative effect of global warming on winter wheat yield and greenhouse gas intensity[J]. Science of the Total Environment, 2018, 296(7): 646–647.

[2] Yao Z S, Ma L, Zhang H, et al. Characteristics of annual greenhouse gas flux and NO release from alpine meadow and forest on the eastern Tibetan Plateau[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2019, 7(4): 166–175.

[3] 刘乃栋, 胡浩, 胡中应. 江苏省水稻生产的碳排放结构特征和影响因素研究——基于农户生产投入和规模的视角[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(13): 4121–4124. [Liu Naidong, Hu Hao, Hu Zhongying. Research on structural characteristics and affecting factors of carbon emission of rice production in Jiangsu Province: Based on farmers' production inputs and scale[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(13): 4121–4124.]

[4] 朱金茹, 李文昊, 王振华, 等. 覆膜滴灌棉田地膜残留量对棉花生长的影响[J]. 干旱区研究, 2021, 38(2): 570–579. [Zhu Jinru, Li Wenhao, Wang Zhenhua, et al. Effect of film mulching residue on cotton growth in drip irrigation cotton field[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(2): 570–579.]

[5] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019: 375–404. [People's Republic of China, Statistics Bureau. China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2019: 375–404.]

[6] 曾科. 大豆, 玉米和高粱生长对土壤氧化亚氮排放的影响[D]. 武汉: 湖北大学, 2016. [Zeng Ke. Effect of Soybean, Maize and Sorghum Growth on N_2O Emission from Soil[D]. Wuhan: Hubei University, 2016.]

[7] 姚雪雯, 陈书涛, 王君, 等. 不同作物农田的土壤呼吸与高光谱的关系[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(5): 1140–1149. [Yao Xuewen, Chen Shutao, Wang Jun, et al. Relationships between soil respiration and hyperspectrum in different croplands[J]. Journal of Agricultural Environment Sciences, 2020, 39(5): 1140–1149.]

[8] Ma D D, Chen L, Qu H C, et al. Impacts of plastic film mulching

on crop yields, soil water, nitrate, and organic carbon in Northwestern China: A meta-analysis[J]. Agricultural Water Management, 2018, 288(2): 167–171.

[9] 刘建粲, 王泽林, 岳善超, 等. 地膜覆盖和施氮量对旱作春玉米农田净温室效应的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(4): 1197–1204. [Liu Jiansu, Wang Zelin, Yue Shanchao, et al. Effects of plastic film mulching and nitrogen application rate on net global warming potential in semiarid rain-fed maize cropland[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(4): 1197–1204.]

[10] Liu J L, Lin Z, Luo S S, et al. Response of nitrous oxide emission to soil mulching and nitrogen fertilization in semi-arid farmland [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2014, 10(2): 20–23.

[11] 俞永祥, 赵成义, 贾宏涛, 等. 覆膜对绿洲棉田土壤CO_2通量和CO_2浓度的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(1): 155–160. [Yu Yongxiang, Zhaog Chengyi, Jia Hongtao, et al. Effects of plastic film mulching on soil CO_2 efflux and CO_2 concentration in an oasis cotton[J]. Journal of Applied Ecology, 2015, 26(1): 155–160.]

[12] Li Z, Zhang R, Wang X, et al. Effects of plastic film mulching with drip irrigation on N_2O and CH_4 emissions from cotton fields in arid land[J]. Journal of Agricultural Science, 2014, 152(4): 534–542.

[13] 杨睿, 郑静, 范军亮, 等. 覆膜方式对旱作夏玉米产量和温室气体排放的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(4): 285–292. [Yang Rui, Zheng Jing, Fan Junliang, et al. Effects of different film mulching methods on greenhouse gas emissions and yield of dryland summer maize[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2020, 38(4): 285–292.]

[14] 罗晓琦, 张阿凤, 陈海心, 等. 覆膜方式和灌溉对夏玉米产量及农田碳排放强度的影响[J]. 环境科学, 2018, 39(11): 5246–5256. [Luo Xiaoqi, Zhang Afeng, Chen Haixin, et al. Effects of plastic film mulching patterns and irrigation on yield of summer maize and greenhouse gas emissions intensity of field[J]. Environmental Science, 2018, 39(11): 5246–5256.]

[15] 石书静, 高志岭. 不同通量计算方法对静态箱法测定农田N_2O排放通量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(10): 2060–2065. [Shi Shujing, Gao Zhiling. Impact of different flux-calculation methods on the N_2O fluxes from cropland measured with static chamber technique[J]. Journal of Agricultural Environment Sciences, 2012, 31(10): 2060–2065.]

[16] 程功, 刘廷玺, 李东方, 等. 生物炭和秸秆还田对干旱区玉米农田土壤温室气体通量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2019, 27(7): 1004–1014. [Cheng Gong, Liu Tingxi, Li Dongfang, et al. Effects of biochar and straw on greenhouse gas fluxes of corn fields in arid regions[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(7): 1004–1014.]

[17] Henry Y, Andy I, Douglas G, et al. In situ degradation of biodegradable plastic mulch films in compost and agricultural soils[J]. Science of the Total Environment, 2020, 727(20): 1–6.

[18] Smith K A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes[J]. European Journal of Soil Science, 2003, 54(4): 779–791.

[19] 王顺科, 李艳红, 李发东, 等. 新疆典型淡水湖和咸水湖芦苇湿地土壤CO_2, CH_4和N_2O排放研究[J]. 干旱区研究, 2020, 37(5): 1183–1193. [Wang Shunke, Li Yanhong, Li Fadong, et al. Study on CO_2, CH_4, and N_2O emissions from reed wetlands in typical freshwater lake and saltwater lake in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(5): 1183–1193.]

[20] 翟洋洋, 程云湘, 常生华, 等. 干旱地区农田生态系统土壤温室气体排放机制[J]. 中国农学通报, 2015, 31(9): 231–236. [Zhai Yangyang, Cheng Yunxiang, Chang Shenghua, et al. Soil greenhouse gas emission mechanism of farmland ecosystem in arid area [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(9): 231–236.]

[21] 吕晓东, 王婷. DNDC模型模拟农田温室气体排放研究进展[J]. 甘肃农业科技, 2018(11): 91–96. [Lyu Xiaodong, Wang Ting. Research progress of DNDC model simulating greenhouse gas emission from farmland[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2018(11): 91–96.]

[22] 张西超, 叶旭红, 韩冰, 等. 灌溉方式对设施土壤温室气体排放的影响[J]. 环境科学研究, 2016, 29(10): 1487–1496. [Zhang Xichao, Ye Xuhong, Han Bing, et al. The effect of irrigation methods on greenhouse gas emissions from facility soils[J]. Environmental Science Research, 2016, 29(10): 1487–1496.]

[23] Leggett J A. China's greenhouse gas emissions and mitigation policies[J]. Current Politics & Economics of Northern & Western Asia, 2011, 20(9): 1–5.

[24] Zhang M, Guo S L, Li B. Impact of different nitrogen-horizontal placements on greenhouse gas exchange in an apple orchard[J]. Clean-Soil, Air, Water, 2019, 47(4): 4–6.

[25] Fierer N, Craine J M, McLauchlan K, et al. Litter quality and the temperature sensitivity of decomposition[J]. Ecology, 2005, 86(2): 320–326.

[26] 王兴, 钟泽坤, 朱玉帆, 等. 增温和增雨对黄土丘陵区撂荒草地土壤呼吸的影响[J/OL]. 环境科学, http: //doi: org/10.13227/j.hjkx.202106094. [Wang Xing, Zhong Zekun, Zhu Yufan, et al. Effects of warming and increased precipitation on soil respiration of abandoned grassland in the Loess-Hilly regions[J]. Environmental Science, http: //doi: org/10.13227/j.hjkx.202106094.]

[27] 闫翠侠, 杨国亮, 李典鹏, 等. 生物炭对干旱区绿洲农田土壤呼吸的影响[J]. 中国农业气象, 2018, 39(9): 575–584. [Yan Cuixia, Yang Guoliang, Li Dianpeng, et al. Effect of biochar addition on soil respiration of oasis farmland in arid areas[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2018, 39(9): 575–584.]

[28] Wang Y, Song C, Liu H, et al. Precipitation determines the magnitude and direction of interannual responses of soil respiration to experimental warming[J]. Plant and Soil, 2021, 458(1): 75–91.

[29] 舒晓晓, 刘智杰. 浅析农田温室气体排放的影响因素[J]. 中国农学通报, 2019, 35(35): 100–103. [Shu Xiaoxiao, Liu Zhijie. Factors affecting greenhouse gas emission in farmland[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(35): 100–103.]

[30] 卢闯, 胡海棠, 淮贺举, 等. 夏玉米–冬小麦轮作期土壤呼吸的温度敏感性分析[J]. 中国农业气象, 2020, 41(7): 403–412. [Lu

Chuang, Hu Haitang, Huai Heju, et al. Characteristics of temperature sensitivity of soil respiration in a summer maize winter wheat rotation cropland[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2020, 41 (7): 403–412.]

[31] 闻志彬, 夏春兰, 王玉兰. 干旱胁迫对C3植物天山猪毛菜叶片C4光合酶和δ[13]C值的影响[J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 993–1000. [Wen Zhibin, Xia Chunlan, Wang Yulan. Changes in C4 photosynthetic enzymes and δ[13]C values of C3 desert plant *Salsola junatovii* Botsch. under soil drought stress[J]. Arid Zong Research, 2020, 37(4): 993–1000.]

[32] 叶子飘, 杨小龙, 康华靖. C3和C4植物光能利用效率和水分利用效率的比较研究[J]. 浙江农业学报, 2016, 28(11): 1867–1873. [Ye Zipiao, Yang Xiaolong, Kang Huajing. Comparison of light-use and water-use efficiency for C3 and C4 species[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2016, 28(11): 1867–1873.]

[33] 慕楠, 刁晓君, 王曙光, 等. 增施CO_2对C3和C4植物根际氯氰菊酯残留浓度的影响[J]. 环境科学, 2012, 33(6): 2046–2051. [Mu Nan, Diao Xiaojun, Wang Shuguang, et al. Effect of CO_2 fertilization on residual concentration of cypermethrin in rhizosphere of C3 and C4 plant[J]. Environmental Science, 2012, 33(6): 2046–2051.]

[34] Lyu F L, Song J S, Giltrap D, et al. Crop yield and N_2O emission affected by long-term organic manure substitution fertilizer under winter wheat-summer maize cropping system[J]. Science of the Total Environment, 2020, 732(4): 1–7.

Effects of soil mulching on the greenhouse gas emissions of crops farmland in an arid area of Xinjiang

WANG Xuyang[1], LI Dianpeng[1], SUN Tao[1], SUN Xia[1], JIA Hongtao[1], LI Jun[2], LI Xinhu[2]

(1. College of Grassland and Environmental Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; 2. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: Film mulching is an effective means of improving crop yield on farmland in arid areas; thus, it is widely used in agriculture. Therefore, it is important to explore the effects of film mulching under different crop systems on soil greenhouse gas emissions with the aim of reducing such emissions on farmland. The present study included a plot experiment and in situ observations of greenhouse gas emissions from film mulch-maize soils (MM), film mulch-cotton soils (CM), nonfilm mulch-maize soils (MN) and nonfilm mulch-cotton soils (CN) treated plots. Film mulching significantly increased the soil temperature and water content ($P<0.05$). The frequency of CH_4 emissions from film mulch-treated (MM and CM) soil was greater than that from nonfilm mulch-treated (MN and CN) soil. The highest emission fluxes of CH_4 in each system appeared with the MM and CM treatments at 63.47 $\mu g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$ and 16.67 $\mu g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$, respectively. The highest emission fluxes of N_2O occurred under the MM (616.70 $\mu g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$) and CN (244.92 $\mu g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$) treatments. The maximum CO_2 emission flux in the soil of maize and cotton plots appeared in July (505.93 $g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$) and June (848.32 $g\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$), respectively. Subsequently, all treatments showed a downward trend. The soil water content had significant effects on CH_4, N_2O, and CO_2 emissions under both MM and CM treatments ($P<0.05$). Soil temperature had a significant effect on the CH_4 emissions of MM-treated soil. N_2O emissions following treatment with MM and CM were significantly positively correlated with soil temperature. CO_2 emissions under each treatment were significantly correlated with soil temperature ($P<0.05$). Crop species and plastic mulching work together on CO_2 emissions. The global warming potential of MM- and MN-treated soils was significantly higher, by around 61.83%–74.63%, than that of CM-and CN-treated soils. Thus, soil greenhouse gas emissions in farmland are affected by the combination of film mulching and crop type. Furthermore, soil greenhouse gas emissions beneath film mulch treatments respond more strongly to hydrothermic factors than the emissions from nonfilm mulch-treated soils.

Keywords: arid area farmland; maize; cotton; plastic film mulching; greenhouse gases